JAPAN PATENT OFFICE

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application : October 8, 2002

Application Number : Patent Application No. P2002-294705
[ST.10/C] : [JP2002-294705]

Applicant(s) : NIPPON TELEGRAPH
AND TELEPHONE CORPORATION

August 14, 2003

Commissioner,
Japan Patent Office Yasuo IMAI

Number of Certificate: 2003-3066213

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: ２００２年１０月　８日

出願番号
Application Number: 特願２００２－２９４７０５

[ST. 10/C]: ［ＪＰ２００２－２９４７０５］

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

２００３年　８月１４日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office 今井康夫

出証番号　出証特２００３－３０６６２１３

【書類名】　特許願
【整理番号】　NTTH145981
【提出日】　平成14年10月 8日
【あて先】　特許庁長官殿
【国際特許分類】　H04B 10/152
【発明の名称】　光サンプリング方法、装置およびプログラム
【請求項の数】　8
【発明者】
【住所又は居所】　東京都千代田区大手町二丁目３番１号　日本電信電話株式会社内
【氏名】　伊藤　文彦
【特許出願人】
【識別番号】　000004226
【氏名又は名称】　日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】　100083806
【弁理士】
【氏名又は名称】　三好　秀和
【電話番号】　03-3504-3075
【選任した代理人】
【識別番号】　100068342
【弁理士】
【氏名又は名称】　三好　保男
【手数料の表示】
【予納台帳番号】　001982
【納付金額】　21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】　明細書　1
【物件名】　図面　1

【物件名】　要約書　1

【包括委任状番号】　9701396

【プルーフの要否】　要

【書類名】　明細書

【発明の名称】　光サンプリング方法、装置およびプログラム

【特許請求の範囲】

【請求項１】　繰り返し入力される高速な信号光を観測する光サンプリング方法であって、

前記光信号の繰り返し周期と僅かに異なる周期を有し、光パルス幅が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光パルスを光パルス発生手段から発生し、

前記信号光および光パルスをそれぞれ分岐手段で２つに分岐し、

この分岐された一方の信号光または光パルスを遅延手段で所定時間遅延させ、

前記分岐された光パルスと信号光を第１の光ハイブリッドに入射し、前記遅延手段で遅延させられた信号光または光パルスの一方と遅延させられていない他方の第２の光ハイブリッドに入射し、

前記第１の光ハイブリッドからの出射光を第１、第２のバランス型光受信器で受信して第１、第２の電流をそれぞれ出力し、

前記第２の光ハイブリッドの出射光を第３、第４のバランス型光受信器で受信して第３、第４の電流をそれぞれ出力し、

この第１～第４の電流の値に対して演算処理を演算処理装置で行って信号光の周波数変調成分を求めること

を特徴とする光サンプリング方法。

【請求項２】　前記演算処理は、

前記第１から第４の電流を第１～第４の低域ろ過フィルタで低域ろ過して波形等化し、この低域ろ過フィルタからの第１～第４の出力電流を数値化手段で数値化し、この数値化手段からの第１～第４の電流値を用いて前記演算処理を行うことを特徴とする請求項１記載の光サンプリング方法。

【請求項３】　前記演算処理は、

第１～第４のバランス型光受信器からの出力電流値をそれぞれ$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$，$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$とすると、信号光の強度が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第１の条件、信号光の周波数が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第２の条件、

および光パルスの中心周波数が信号光の中心周波数とほぼ一致しているという第３の条件において、第２の電流値Ｉ$_2$（τ）を第１の電流値Ｉ$_1$（τ）で除算し、第４の電流値Ｉ$_4$（τ）を第３の電流値Ｉ$_3$（τ）で除算し、この除算した２つの値に基づき信号光の周波数変調成分を算出すること

を特徴とする請求項１または２記載の光サンプリング方法。

【請求項４】　繰り返し入力される高速な信号光を観測する光サンプリング装置であって、

前記光信号の繰り返し周期と僅かに異なる周期を有し、光パルス幅が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光パルスを発生する光パルス発生手段と、

前記信号光および光パルスをそれぞれ２つに分岐する分岐手段と、

この分岐された一方の信号光または光パルスを所定時間遅延させる遅延手段と、

前記分岐された光パルスと信号光を入射される第１の光ハイブリッドと、

前記遅延手段で遅延させられた信号光または光パルスの一方と遅延させられていない他方を入射される第２の光ハイブリッドと、

前記第１の光ハイブリッドからの出射光を受信して第１、第２の電流をそれぞれ出力する第１、第２のバランス型光受信器と、

前記第２の光ハイブリッドからの出射光を受信して第３、第４の電流をそれぞれ出力する第３、第４のバランス型光受信器と、

第１～第４のバランス型光受信器からそれぞれ出力される第１～第４の電流の値に対して演算処理を行い、信号光の周波数変調成分を求める演算処理装置と

を有することを特徴とする光サンプリング装置。

【請求項５】　前記第１～第４のバランス型光受信器からそれぞれ出力される第１～第４の電流をそれぞれ低域ろ過して波形等化する第１～第４の低域ろ過フィルタと、

この第１～第４の低域ろ過フィルタからそれぞれ出力される第１～第４の電流を数値化し、この第１～第４の電流値に対して前記演算処理装置で演算処理を行い、信号光の周波数変調成分を求めるべく前記第１～第４の電流値を演算処理装置に入力する数値化手段と

を有することを特徴とする請求項４記載の光サンプリング装置。

【請求項６】　前記演算処理は、

第１～第４のバランス型光受信器からの出力電流の値をそれぞれＩ１（τ），Ｉ２（τ），Ｉ３（τ），Ｉ４（τ）とすると、信号光の強度が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第１の条件、信号光の周波数が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第２の条件、および光パルスの中心周波数が信号光の中心周波数とほぼ一致しているという第３の条件において、第２の電流値Ｉ２（τ）を第１の電流値Ｉ１（τ）で除算し、第４の電流値Ｉ４（τ）を第３の電流値Ｉ３（τ）で除算し、この除算した２つの値に基づき信号光の周波数変調成分を算出すること

を特徴とする請求項４または５記載の光サンプリング装置。

【請求項７】　請求項１記載の光サンプリング方法の前記演算処理を実行することを特徴とするプログラム。

【請求項８】　前記演算処理は、

請求項１記載の第１～第４のバランス型光受信器からそれぞれ出力される第１～第４の電流値をそれぞれＩ１（τ），Ｉ２（τ），Ｉ３（τ），Ｉ４（τ）とすると、信号光の強度が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第１の条件、信号光の周波数が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第２の条件、および光パルスの中心周波数が信号光の中心周波数とほぼ一致しているという第３の条件において、第２の電流値Ｉ２（τ）を第１の電流値Ｉ１（τ）で除算し、第４の電流値Ｉ４（τ）を第３の電流値Ｉ３（τ）で除算し、この除算した２つの値に基づき信号光の周波数変調成分を算出すること

を特徴とする請求項７記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、繰り返し入力される高速な信号光、特に通常の受光素子や電気回路では観測不可能な速度で変調された信号光を観測するための光サンプリング方法

、装置およびプログラムに関する。

【０００２】

【従来の技術】

従来の光サンプリング装置としては、例えば信号光と局発光パルスとの線形な相関を観測することにより、低パワーで高速な繰り返し光信号の観測を行う技術が知られている（例えば、特許文献１参照）。

【０００３】

この従来の光サンプリング装置では、局発光パルスと信号光を光ハイブリッドに入射し、この光ハイブリッドからの複数の出力光をバランス型光受信器で受信し、このバランス型光受信器の出力信号を二乗してから互いに加え合わせることにより、局発光パルスと信号光が重なった時刻での信号光の強度に比例した出力を取得し、これにより電気回路の処理速度に依存することなく、局発光パルスのパルス幅を時間分解能とする光サンプリング動作を可能としている。

【０００４】

【特許文献１】

特開平９－１６２８０８号公報

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、光信号は強度変調を受けると同時に周波数変調を受けていることが多い。例えば、半導体レーザの注入電流のオン／オフによる変調を行えば、強度は勿論であるが、それと同時に発生するレーザ光の周波数も変化する。また、純粋に強度変調されたレーザ光を光ファイバにより伝送した場合には、自己位相変調と呼ばれる光ファイバの非線形光学効果によって伝送後の光信号の周波数は変調を受けることになる。

【０００６】

そして、従来の光サンプリング装置では、信号光の強度変化は観測できるが、周波数がどのように変化しているかについては全く情報が得られないという問題がある。

【０００７】

上記に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、超高速な
測に使用できる高速性および低パワーの信号光の観測に使用できる高
持しつつ信号光の強度変調情報と同時に周波数変調情報を観測するこ
光サンプリング方法、装置およびプログラムを提供することにある。
０８】
を解決するための手段】
を達成するため、請求項１記載の本発明は、繰り返し入力される高速
観測する光サンプリング方法であって、前記光信号の繰り返し周期と
る周期を有し、光パルス幅が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光
パルス発生手段から発生し、前記信号光および光パルスをそれぞれ分
つに分岐し、この分岐された一方の信号光または光パルスを遅延手段
遅延させ、前記分岐された光パルスと信号光を第１の光ハイブリッド
前記遅延手段で遅延させられた信号光または光パルスの一方と遅延さ
ない他方の第２の光ハイブリッドに入射し、前記第１の光ハイブリッ
射光を第１、第２のバランス型光受信器で受信して第１、第２の電流
出力し、前記第２の光ハイブリッドの出射光を第３、第４のバランス
で受信して第３、第４の電流をそれぞれ出力し、この第１～第４の電
して演算処理を演算処理装置で行って信号光の周波数変調成分を求め
ことする。
０９】
記載の本発明にあっては、光信号の繰り返し周期と僅かに周期が異な
が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光パルスを発生し、信号光
分岐し、この分岐された光パルスと信号光を第１の光ハイブリッド
分岐後に遅延させた信号光または光パルスの一方と遅延していない他
ハイブリッドに入射し、第１および第２の光ハイブリッドからの出
第２および第３、第４のバランス型光受信器で受信して第１～第４
それぞれ出力し、この第１～第４の電流の値に対して演算処理を行って
数変調成分を求めるため、信号光と光パルスの線形な相関である干
して光サンプリングを実現でき、信号光、光パルス共に比較的小さ

な強度でよく、受信感度が高く、時間分解能、消費電力にも優れていることに加えて、信号光の強度だけでなく、周波数変調成分をも観測することができる。

【００１０】

また、請求項２記載の本発明は、請求項１記載の発明において、前記演算処理が、前記第１から第４の電流を第１～第４の低域ろ過フィルタで低域ろ過して波形等化し、この低域ろ過フィルタからの第１～第４の出力電流を数値化手段で数値化し、この数値化手段からの第１～第４の電流値を用いて前記演算処理を行うことを要旨とする。

【００１１】

更に、請求項３記載の本発明は、請求項１または２記載の発明において、前記演算処理が、第１～第４のバランス型光受信器からの出力電流値をそれぞれ$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$，$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$とすると、信号光の強度が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第１の条件、信号光の周波数が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第２の条件、および光パルスの中心周波数が信号光の中心周波数とほぼ一致しているという第３の条件において、第２の電流値$I_2(\tau)$を第１の電流値$I_1(\tau)$で除算し、第４の電流値$I_4(\tau)$を第３の電流値$I_3(\tau)$で除算し、この除算した２つの値に基づき信号光の周波数変調成分を算出することを要旨とする。

【００１２】

請求項４記載の本発明は、繰り返し入力される高速な信号光を観測する光サンプリング装置であって、前記光信号の繰り返し周期と僅かに異なる周期を有し、光パルス幅が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光パルスを発生する光パルス発生手段と、前記信号光および光パルスをそれぞれ２つに分岐する分岐手段と、この分岐された一方の信号光または光パルスを所定時間遅延させる遅延手段と、前記分岐された光パルスと信号光を入射される第１の光ハイブリッドと、前記遅延手段で遅延させられた信号光または光パルスの一方と遅延させられていない他方を入射される第２の光ハイブリッドと、前記第１の光ハイブリッドからの出射光を受信して第１、第２の電流をそれぞれ出力する第１、第２のバランス型光受信器と、前記第２の光ハイブリッドからの出射光を受信して第３、第４の電流を

それぞれ出力する第３、第４のバランス型光受信器と、第１～第４のバランス型光受信器からそれぞれ出力される第１～第４の電流の値に対して演算処理を行い、信号光の周波数変調成分を求める演算処理装置とを有することを要旨とする。

【００１３】

請求項４記載の本発明にあっては、光信号の繰り返し周期と僅かに周期が異なり、パルス幅が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光パルスを発生し、信号光と光パルスを分岐し、この分岐された光パルスと信号光を第１の光ハイブリッドに入射し、分岐後に遅延させた信号光または光パルスの一方と遅延していない他方を第２の光ハイブリッドに入射し、第１および第２の光ハイブリッドからの出射光を第１、第２および第３、第４のバランス型光受信器で受信して第１～第４の電流をそれぞれ出力し、この第１～第４の電流の値に対して演算処理を行って信号光の周波数変調成分を求めるため、信号光と光パルスの線形な相関である干渉効果を検出して光サンプリングを実現でき、信号光、光パルス共に比較的小さな強度でよく、受信感度が高く、時間分解能、消費電力にも優れていることに加えて、信号光の強度だけでなく、周波数変調成分をも観測することができる。

【００１４】

また、請求項５記載の本発明は、請求項４記載の発明において、前記第１～第４のバランス型光受信器からそれぞれ出力される第１～第４の電流をそれぞれ低域ろ過して波形等化する第１～第４の低域ろ過フィルタと、この第１～第４の低域ろ過フィルタからそれぞれ出力される第１～第４の電流を数値化し、この第１～第４の電流値に対して前記演算処理装置で演算処理を行い、信号光の周波数変調成分を求めるべく前記第１～第４の電流値を演算処理装置に入力する数値化手段とを有することを要旨とする。

【００１５】

更に、請求項６記載の本発明は、請求項４または５記載の発明において、前記演算処理が、第１～第４のバランス型光受信器からの出力電流の値をそれぞれ$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$，$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$とすると、信号光の強度が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第１の条件、信号光の周波数が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという

第２の条件、および光パルスの中心周波数が信号光の中心周波数とほぼ一致しているという第３の条件において、第２の電流値Ｉ２（τ）を第１の電流値Ｉ１（τ）で除算し、第４の電流値Ｉ４（τ）を第３の電流値Ｉ３（τ）で除算し、この除算した２つの値に基づき信号光の周波数変調成分を算出することを要旨とする。

【００１６】

請求項７記載の本発明は、請求項１記載の光サンプリング方法の前記演算処理を実行するプログラムであることを要旨とする。

【００１７】

また、請求項８記載の本発明は、請求項７記載の発明において、前記演算処理が、請求項１記載の第１～第４のバランス型光受信器からそれぞれ出力される第１～第４の電流値をそれぞれＩ１（τ），Ｉ２（τ），Ｉ３（τ），Ｉ４（τ）とすると、信号光の強度が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第１の条件、信号光の周波数が局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないという第２の条件、および光パルスの中心周波数が信号光の中心周波数とほぼ一致しているという第３の条件において、第２の電流値Ｉ２（τ）を第１の電流値Ｉ１（τ）で除算し、第４の電流値Ｉ４（τ）を第３の電流値Ｉ３（τ）で除算し、この除算した２つの値に基づき信号光の周波数変調成分を算出するプログラムであることを要旨とする。

【００１８】

【発明の実施の形態】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態を説明する。図１は、本発明の一実施形態に係る光サンプリング装置の構成を示す図である。同図に示す光サンプリング装置は、周期１／ｆで繰り返し入力される信号光の強度だけでなく、周波数変調成分を求めることができるものであり、信号光の繰り返し周期１／ｆと僅かに異なる周期１／（ｆ＋Δｆ）の正弦波電気信号を出力する正弦波発生器２およびこの正弦波発生器２から出力される正弦波電気信号によって駆動され、信号光の繰り返し周期１／ｆにオフセットΔｆを加えた周期１／（ｆ＋Δｆ）のサンプリング光パルスを発生するサンプリング光パルス発生手段１を有する。

【００１９】

このサンプリング光パルス発生手段１から出力される局発光パルスであるサンプリング光パルスは、第１の分岐素子１１ａで２つに分岐され、この分岐された一方は第１の光９０度ハイブリッド８ａの光カプラ４ａに入射し、他方は遅延手段３で所定時間遅延させられてから第２の光９０度ハイブリッド８ｂの光カプラ４ｅに入射する。また、周期１／ｆで繰り返し入力される信号光は、第２の分岐素子１１ｂで２つに分岐され、この分岐された一方は第１の光９０度ハイブリッド８ａの光カプラ４ｂに入射し、他方は第２の光９０度ハイブリッド８ｂの光カプラ４ｆに入射する。分岐素子１１ａ，１１ｂは、具体的には光カプラまたはハーフミラーで構成される。

【００２０】

なお、遅延手段３は、図１では、分岐素子１１ａを介したサンプリング光パルス発生手段１からのサンプリング光パルスを遅延させているが、サンプリング光パルス発生手段１からのサンプリング光パルスと信号光との相対的に遅延を制御するものであるので、分岐素子１１ａの出力に設ける代わりに分岐素子１１ｂの出力に設けて、信号光を所定時間遅延させてもよいものである。

【００２１】

第１、第２の光９０度ハイブリッド８ａ，８ｂ（以下、単に光ハイブリッドと称する）は、それぞれ光カプラ４ａ，４ｂ，４ｃ，４ｄおよび４ｅ，４ｆ，４ｇ，４ｈで構成され、図中の光路長Ａと光路長Ｃの光路長差が光路長Ｂと光路長Ｄの光路長差よりもλ／４（λは光波長）だけ大きいかまたは小さくなるように設定される。なお、光ハイブリッド８は、例えばハーフミラーによる空間光学系や集積された光回路によって実現できることが知られている。

【００２２】

第１の光ハイブリッド８ａからの４つの出力光は、第１、第２のバランス型光受信器５ａ，５ｂで受信される。この第１、第２のバランス型光受信器５ａ，５ｂからの２つの出力電流は、遮断周波数が分周間隔Ｔの逆数程度に設定されている第１、第２の低域ろ過フィルタ１０ａ，１０ｂにおいて波形等化を施され、第１、第２の数値化手段９ａ，９ｂで数値化されてから、演算処理装置１３に入力される。

【００２３】

また、第２の光ハイブリッド８ｂからの４つの出力光は、第３、第４のバランス型光受信器５ｃ，５ｄで受信される。この第３、第４のバランス型光受信器５ｃ，５ｄからの２つの出力電流は、同様に遮断周波数が分周間隔Ｔの逆数程度に設定されている第３、第４の低域ろ過フィルタ１０ｃ，１０ｄにおいて波形等化を施され、第３、第４の数値化手段９ｃ，９ｄで数値化されてから、演算処理装置１３に入力される。演算処理装置１３は、上述したように入力される４つの数値化された信号、すなわち第１～第４のバランス型光受信器５ａ～５ｄに生じた４つの電流値に対して下記に説明するような演算処理を行い、信号光の周波数変調を求める。

【００２４】

次に、上述したように構成される本実施形態の光サンプリング装置の動作について説明する。サンプリング光パルス発生手段１から出力される局発光パルスであるサンプリング光パルスは、次の条件を満足する必要がある。

【００２５】

（条件１）信号光の強度は、局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないこと。

【００２６】

（条件２）信号光の周波数は、局発光パルスのパルス幅の時間内においてはほとんど変化しないこと。

【００２７】

（条件３）光パルスの中心周波数は、信号光の中心周波数とほぼ一致していること。

【００２８】

上記条件１，２は、光サンプリング装置に要求される時間分解能よりも短いパルスを用意する必要があることを意味している。上記条件が満足される場合には、本発明の光サンプリング装置によって信号の振幅が正しく検出されることを以下に説明する。

【００２９】

まず、信号光およびサンプリング光パルスの波形は、次式で表わされる。

【００３０】

【数１】

$$Sig(t) = A(t)\ exp\{j[\omega_0 + \omega_M(t)]t\}$$

（信号光）　…（１）

$$Sam(t) = \delta(t-\tau)\ exp(j\omega_0 t + \phi)$$

（サンプリング光パルス）　…（２）

ここで、Ａ（ｔ）は信号光の振幅、$\omega_M(t)$は信号光の周波数変調成分、$\delta(t-\tau)$は光パルスの中心位置である。ϕはサンプリング光パルスの信号との相対的な位相差であり、信号光とサンプリング光パルスが別々のレーザから発生する場合はランダムに変化する。

【００３１】

条件３から両者の中心周波数は共にω_0に置くことができる。この時、第１、第２のバランス型光受信器５ａ，５ｂにそれぞれ流れる電流$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$は、次のように表わされる。

【００３２】

【数２】

$$I_1(\tau) = Avr[Sig(t)\ Sam^*(t)\ exp\{j(\omega_M(t)t + \phi)\} + c.c.]$$
$$= Avr[A(t)\ \delta^*(t-\tau)\ exp\{j(\omega_M(t)t + \phi)\} + c.c.]$$

（バランス型光受信器５ａ）　…（３）

$$I_2(\tau) = Avr[Sig(t)\ Sam^*(t)\ exp\{j(\pi/2 + \omega_M(t)t + \phi)\} + c.c.]$$
$$= Avr[[A(t)\ \delta^*(t-\tau)\ exp\{j(\pi/2 + \omega_M(t)t + \phi)\} + c.c.]$$

（バランス型光受信器５ｂ）　…（４）

ここで、Ａｖｒは時刻τ付近での低域ろ過フィルタ１０による積分時間程度にわたる平均を意味する。$\delta(t)$は局発光パルスの波形であり、時間τの近傍のみで

値を持ち、それ以外は零である。

【００３３】

また、条件１，２から$\delta(t)$のパルス幅の間には信号光の強度$A(t)$と周波数$\phi_M(t)$は変化せず、その値はそれぞれ$A(\tau)$，$\phi(\tau)$であるので、第１、第２のバランス型光受信器５ａ，５ｂに流れる電流$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$は、次式のようになる。

【００３４】

【数３】

$$I_1(\tau)=\delta(0)\,A(\tau)\,\exp\{j(\omega_M(\tau)\tau+\phi)+c.c.$$
$$=\delta(0)\,A(\tau)\,\cos(\omega_M(\tau)\tau+\phi)$$
（バランス型光受信器５ａ）　…（５）

$$I_2(\tau)=A(\tau)\,\delta^*(\tau)\,\exp\{j(\omega_M(\tau)\tau+\phi+\pi/2)+c.c.$$
$$=\delta(0)\,A(\tau)\,\sin(\omega_M(\tau)\tau+\phi)$$
（バランス型光受信器５ｂ）　…（６）

次に、第３、第４のバランス型光受信器５ｃ，５ｄに流れる電流$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$について考える。第３、第４のバランス型光受信器５ｃ，５ｄに流れる電流$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$は第１、第２のバランス型光受信器５ａ，５ｂに流れる電流$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$と基本的に同じであるが、遅延手段３がサンプリング光パルス発生手段１からのサンプリング光パルスである局発光パルスの経路上に挿入されている点が異なっている。

【００３５】

遅延手段３がもたらす経路長の差分をＬとすると、信号光と局発光パルスとは、時間にして次式に示す時間差Ｔだけずれて第２の光ハイブリッド８ｂに入射する。

【００３６】

$$T=L/c$$　（ｃは光速度）　…（７）

この経路長差分Ｌは、予め計測しておく必要があり、また測定時中、光の波長レベルの変動がないように安定に保たれる必要がある。

【００３７】

本実施形態の光サンプリング装置の時間分解能を最大限に引き上げるには、時間差Ｔ＝Ｌ／ｃは、局発光パルスのパルス幅と同程度かまたはその数倍程度以内に設定されるべきである。すなわち、後述するように、本実施形態の光サンプリング装置が正しく動作するためには、時間差Ｔの間に信号光の周波数が変化しないことが必要である。

【００３８】

第３、第４のバランス型光受信器５ｃ，５ｄに流れる電流Ｉ３(τ)，Ｉ４(τ)は、次式のように計算される。

【００３９】

【数４】

$$I_3(\tau) = Avr[Sig(t)\ Sam^*(t-T)\ \exp\{j(\omega_M(t)t+\phi)\} + c.c.]$$
$$= Avr[A(t)\ \delta^*(t-(\tau+T))\ \exp\{j(\omega_M(t)t+\phi)\} + c.c.]$$

（バランス型光受信器５ｃ）　…（８）

$$I_4(\tau) = Avr[Sig(t)\ Sam^*(t-T)\ \exp\{j(\pi/2+\omega_M(t)t+\phi)\} + c.c.]$$
$$= Avr[[A(t)\ \delta^*(t-(\tau+T))\ \exp\{j(\pi/2+\omega_M(t)t+\phi)\} + c.c.]$$

（バランス型光受信器５ｄ）　…（９）

そして、上述した電流Ｉ１(τ)，Ｉ２(τ)の計算と同様の計算により、電流Ｉ３(τ)，Ｉ４(τ)は、次式のようになる。

【００４０】

【数５】

$$I_3(\tau) = A(\tau+T)\delta^*(0)\ \exp\{j(\omega_M(\tau+T)(\tau+T)+\phi)+c.c.$$
$$= \delta^*(0)\ A(\tau+T)\ \cos(\omega_M(\tau+T)(\tau+T)+\phi)$$

（バランス型光受信器５ｃ）　…（10）

$$I_4(\tau) = A(\tau)\,\delta^*(0)\,\exp\{j(\omega_M(\tau+T)(\tau+T)+\phi+\pi/2)+c.c.$$

$$= \delta^*(0)\,A(\tau+T)\,\sin(\omega_M(\tau+T)(\tau+T)+\phi)$$

（バランス型光受信器５ｄ）　…（11）

本実施形態の光サンプリング装置の時間分解能を最大限に引き上げるために、上述したように、時間差Ｔ＝Ｌ／ｃは局発光パルスのパルス幅と同程度に設定されるかまたはその数倍程度以内に設定され、この条件下では、信号光の周波数ω_Mは時間差Ｔの間に変化しないので、電流$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$は、次式のようになる。

【００４１】

【数６】

$$I_3(\tau) = \delta^*(0)\,A(\tau+T)\,\cos(\omega_M(\tau)(\tau+T)+\phi)$$

（バランス型光受信器５ｃ）　…（12）

$$I_4(\tau) = \delta^*(0)\,A(\tau+T)\,\sin(\omega_M(\tau)(\tau+T)+\phi)$$

（バランス型光受信器５ｄ）　…（13）

上述したように計算される電流$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$，$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$は、第１～第４のバランス型光受信器５ａ，５ｂ，５ｃ，５ｄからそれぞれ第１～第４の低域ろ過フィルタ１０ａ～１０ｄで低域ろ過され、第１～第４の数値化手段９ａ～９ｄで数値化され、演算処理装置１３に供給される。

【００４２】

演算処理装置１３は、式（５），（６），（12），（13）により信号光の時刻τにおける周波数$\omega_M(\tau)$を求める演算を以下のように行う。

【００４３】

まず、式（６）を式（５）で除算し、式（13）を式（12）で除算して、次式（１４），（１５）をそれぞれ得る。

【００４４】

【数７】

$$I_2(\tau)/I_1(\tau) = \tan(\omega_M(\tau)\tau+\phi) \quad \cdots (14)$$

$$I_4(\tau)/I_3(\tau) = \tan(\omega_M(\tau)(\tau+T)+\phi) \quad \cdots (15)$$

従って、周波数$\omega_M(\tau)$は、次式のように計算される。

【００４５】

【数８】

$$\omega_M(\tau) = |\arctan(I_4(\tau)/I_3(\tau)) - \arctan(I_2(\tau)/I_1(\tau))|/T \quad \cdots (16)$$

上述したように観測されるバランス型光受信器５ａ～５ｄの出力電流$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$，$I_3(\tau)$，$I_4(\tau)$に対して式（16）で示すような演算を演算処理装置１３で行うことにより、信号光の時刻τにおける周波数変調を求めることができる。

【００４６】

なお、どちらか一方の組のバランス型光受信器５の出力電流、例えば電流$I_1(\tau)$，$I_2(\tau)$から

【数９】

$$(I_1(\tau))^2+(I_2(\tau))^2 \propto A^2(\tau) \quad \cdots (17)$$

なる計算を行うことにより、強度変調成分Ａ(ｔ)を得ることができることは勿論のことである。

【００４７】

上述したように、本実施形態の光サンプリング装置では、信号光と光パルスの線形な相関である干渉効果を検出することにより光サンプリングを実現しており、信号光、光パルス共に比較的小さな強度でよく、受信感度が高く、また時間分解能を制限する要因が光パルスのパルス幅および光パルスに付与された遅延量だけであり、時間分解能、消費電力にも優れた光サンプリング装置を提供できる点は従来技術と同等であり、更にこの特性を維持しつつ、本実施形態の光サンプリング装置では信号光の強度だけでなく、周波数変調成分をも観測することができる。この結果、例えばコヒーレント伝送に用いられる周波数変調または位相変調光の観測や、光ファイバ内を伝播する際の自己位相変調による周波数変動を観測することができるなど、より応用範囲の広い光サンプリングを実現可能である。

【００４８】

なお、上記実施形態の光サンプリング装置の演算処理装置１３における演算処

理は好ましくはプログラムで実施される。

【００４９】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、光信号の繰り返し周期と僅かに周期が異なり、パルス幅が信号光の周波数変動の逆数よりも短い光パルスを発生し、信号光と光パルスを分岐し、この分岐した光パルスと信号光を第１の光ハイブリッドに入射し、分岐後に遅延させた信号光または光パルスの一方と遅延していない他方を第２の光ハイブリッドに入射し、第１、第２の光ハイブリッドからの出射光を第１～第４のバランス型光受信器で受信して第１～第４の電流を出力し、この第１～第４の電流の値を演算処理して信号光の周波数変調成分を求めるので、信号光と光パルスの線形な相関である干渉効果を検出して光サンプリングを実現でき、信号光、光パルス共に比較的小さな強度でよく、受信感度が高く、時間分解能、消費電力にも優れていることに加えて、信号光の強度だけでなく、周波数変調成分をも観測することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】

本発明の一実施形態に係る光サンプリング装置の構成を示す図である。

【図２】

従来の光サンプリング装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

１　サンプリング光パルス発生手段

２　正弦波発生器

３　遅延手段

４ａ～４ｈ　光カプラ

５ａ～５ｄ　第１～第４のバランス型光受信器

８ａ，８ｂ　第１、第２の光ハイブリッド

９ａ～９ｄ　第１～第４の数値化手段

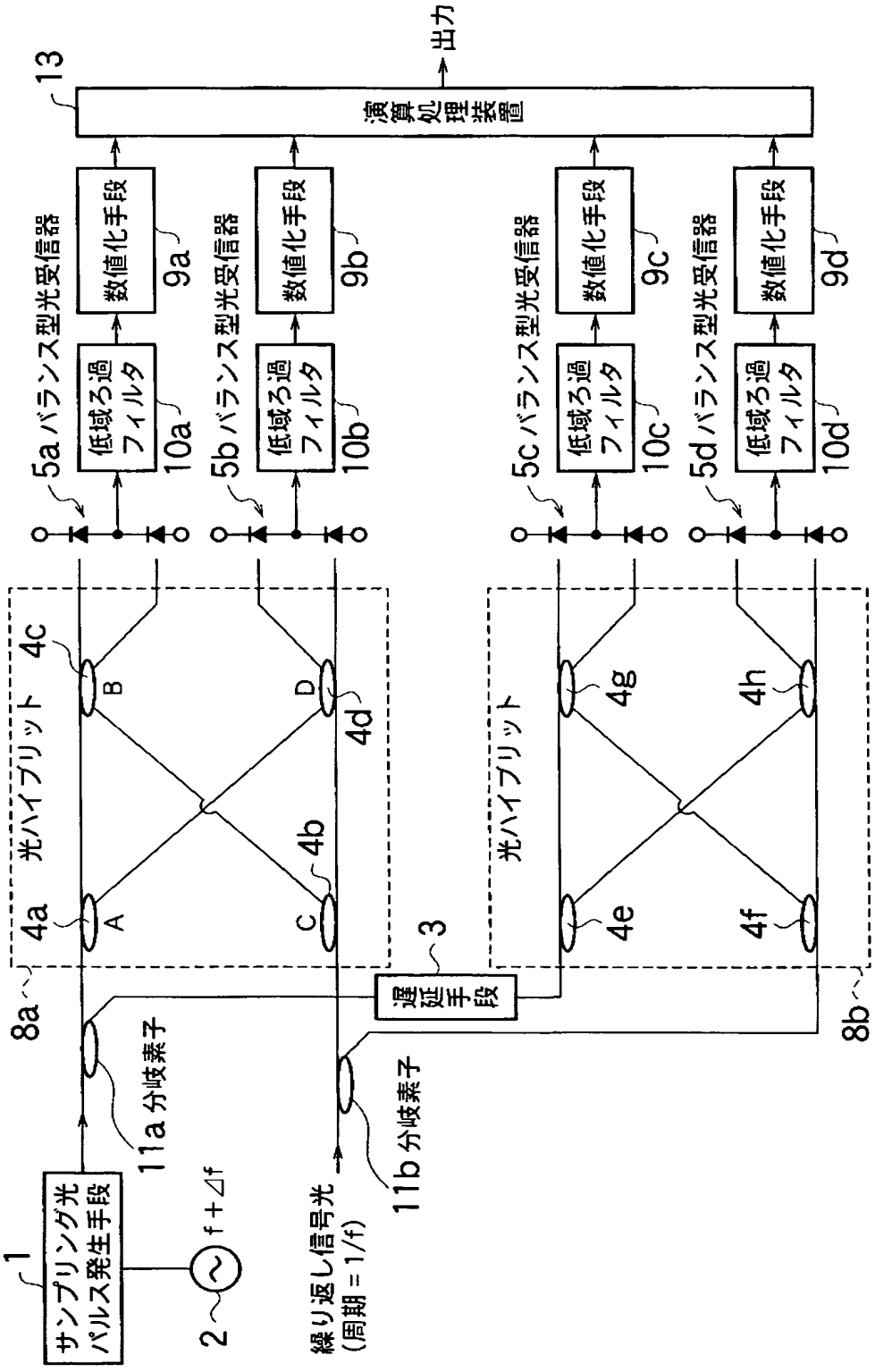
１０ａ～１０ｄ　第１～第４の低域ろ過フィルタ

１１ａ，１１ｂ　分岐素子

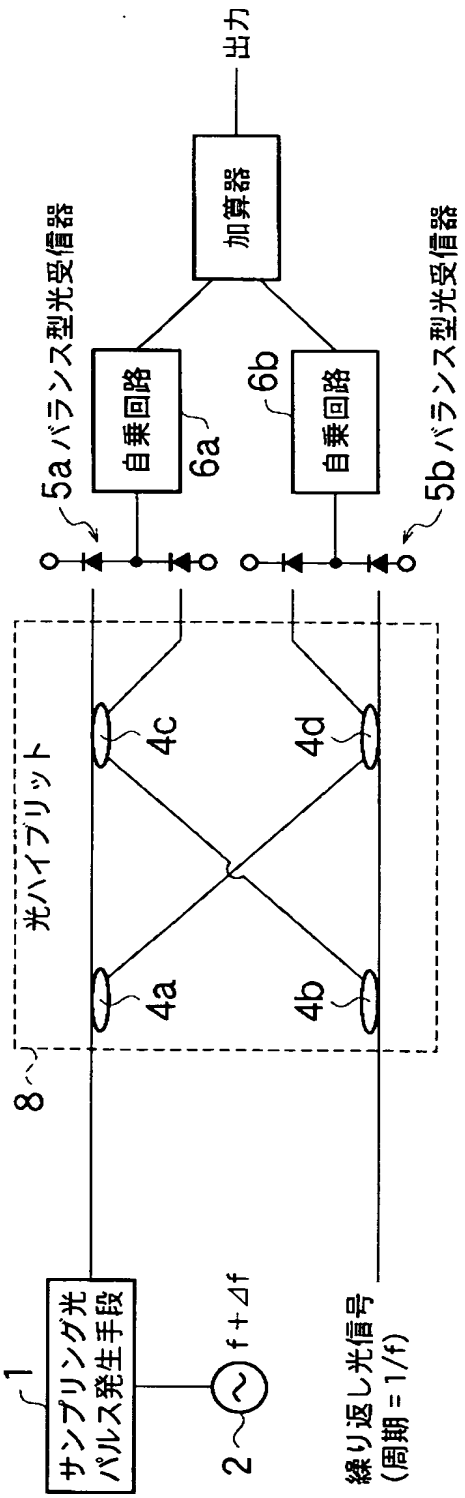
１３　演算処理装置

【書類名】　図面

【図１】


出力
13
演算処理装置
5a バランス型光受信器
5b バランス型光受信器
5c バランス型光受信器
5d バランス型光受信器
低域ろ過フィルタ
10a
10b
10c
10d
数値化手段
9a
9b
9c
9d
光ハイブリット
4a
4b
4c
4d
4e
4f
4g
4h
A
B
C
D
遅延手段
3
8a
8b
11a 分岐素子
11b 分岐素子
サンプリング光パルス発生手段
1
2
f＋⊿f
繰り返し信号光
(周期＝1/f)

【図２】


出力
加算器
5a バランス型光受信器
5b バランス型光受信器
自乗回路
6a
自乗回路
6b
光ハイブリット
4a
4b
4c
4d
8
サンプリング光
パルス発生手段
1
f + Δf
2
繰り返し光信号
(周期 = 1/f)

【書類名】　要約書

【要約】

【課題】　超高速な信号光の観測に使用できる高速性および低パワーの信号光の観測に使用できる高感度性を維持しつつ信号光の強度変調情報と同時に周波数変調情報を観測することができる光サンプリング方法、装置を提供する。

【解決手段】　サンプリング光パルス発生手段１から光パルスを発生し、信号光と光パルスを分岐素子１１ａ，１１ｂで分岐し、この分岐された光パルスと信号光を第１の光ハイブリッド８ａに入射し、分岐後に遅延手段３で遅延させた信号光または光パルスの一方と遅延していない他方を第２の光ハイブリッド８ｂに入射し、第１および第２の光ハイブリッドからの出射光を第１、第２および第３、第４のバランス型光受信器１０ａ～１０ｄで受信して第１～第４の電流をそれぞれ出力し、この第１～第４の電流の値に対して演算処理を演算処理装置１３で行って信号光の周波数変調成分を求める。

【選択図】　図１

特願２００２－２９４７０５

出　願　人　履　歴　情　報

識別番号　　［０００００４２２６］

１．変更年月日　　１９９９年　７月１５日
［変更理由］　　住所変更
住　所　　東京都千代田区大手町二丁目３番１号
氏　名　　日本電信電話株式会社